

主编 ○ 范崇洛

机械加工工艺学

**JIXIE
JIAGONG
GONGYIXUE**



东南大学出版社

机械工业出版社

机械加工工艺学

主 编 范崇洛

东南大学出版社

· 南 京 ·

内 容 提 要

本书主要介绍机械加工工艺规程的制订,轴、套、箱体、齿轮等典型零件的加工工艺、加工精度与表面质量,机械加工生产率及其经济性分析,装配工艺以及现代制造技术、特种加工等。

本书从着重培养生产现场实施型工艺人才的目标出发,通过必须掌握的理论和实践教学,强调对学生工程实践能力的训练和培养。

本书适合高等工科院校机械制造及自动化、机电一体化专业本专科学生使用,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械加工工艺学/范崇洛主编. —南京:东南大学出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-5641-1719-1

I. 机… II. 范… III. 机械加工—工艺学
IV. TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 100099 号

机械加工工艺学

出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江 汉
网 址 <http://press.seu.edu.cn>
电子邮件 press@seu.edu.cn
社 址 南京市四牌楼 2 号
邮 编 210096
电 话 025-83793191(发行) 025-57711295(传真)
经 销 全国新华书店
排 版 南京理工大学印刷厂
印 刷 江苏省地质测绘院印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14.25
字 数 363 千字
版 次 2009 年 8 月第 1 版
印 次 2009 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-1719-1
印 数 1—4000 册
定 价 24.80 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

前 言

本书主要介绍机械加工工艺规程的制订、轴、套、箱体和齿轮等典型零件的加工工艺、加工精度与表面质量,机械加工生产率及其经济性分析,装配工艺的基本知识,对于特种加工和现代制造技术,仅作一般性介绍。

本书的编写指导思想是:充分体现知识、能力、素质的协调发展,着眼于培养生产现场实施型工艺人员所必须掌握的理论和技术,在内容取舍上,保留了作为车间工艺技术人员必不可少的理论和技术,更具体、更贴近实际,对当今的先进技术如成组技术、数控加工和计算机辅助制造等内容作适当的阐述;在编写体例上,着重于一般中小批量生产的、复杂程度中等的典型零件;在加强工程实践能力的训练方面,突出了生产现场服务必须具备的技术和能力。

通过本书的学习,力图使读者达到以下要求:

- (1) 具有编制中等复杂程度零件(中小批量)的常规工艺规程的初步能力;
- (2) 具有对已编好的工艺规程在生产现场实施和服务的初步能力;
- (3) 具有对新工艺、新技术了解和推荐应用的初步能力。

本书由范崇洛主编,周颖协助编写了第8章的部分内容,并由范崇洛统稿。本书由许德轩主审。本书在编写中参考了相关的参考文献,搜集了有关工厂现场的零件加工工艺,在此向有关同志致谢。

由于编者水平所限,错误与不足之处在所难免,敬请读者不吝赐教,以便修订时改进。

编 者
2009年3月

目 录

1 机械加工工艺规程的制订	1
1.1 概述	1
1.2 工艺文件	5
1.3 工艺规程制订的原则及方法	9
1.4 零件的工艺分析	10
1.5 毛坯的选择	12
1.6 基准及其选择	15
1.7 工艺路线的拟订	18
1.8 加工余量和工序尺寸	24
1.9 工艺尺寸链	31
1.10 制订机械加工工艺规程的实例	37
1.11 工艺过程技术经济分析	43
习题与思考题	45
2 机械加工质量	48
2.1 概述	48
2.2 加工原理误差	49
2.3 工艺系统的几何误差	50
2.4 工艺系统受力变形所引起的加工误差	54
2.5 提高加工精度的工艺措施	64
2.6 加工误差的统计分析	66
2.7 机械加工的表面质量	71
习题与思考题	81
3 轴类零件加工	82
3.1 概述	82
3.2 轴类零件的精密加工	84
3.3 轴类零件的中心孔加工	87
3.4 典型轴类零件的加工工艺	90
3.5 典型丝杠的加工工艺	97
习题与思考题	101

4 套类零件加工	103
4.1 概述	103
4.2 套类零件内孔的精密加工	105
4.3 典型套类零件的加工工艺	111
习题与思考题	117
5 箱体与机体零件加工	119
5.1 箱体零件概述	119
5.2 箱体零件的加工工艺分析	120
5.3 箱体的孔系加工	122
5.4 典型箱体类零件的加工工艺	126
5.5 机体零件概述	135
5.6 机体零件上导轨副的精密加工与检测	137
5.7 磨床床身加工工艺分析	145
习题与思考题	149
6 圆柱齿轮加工	151
6.1 概述	151
6.2 圆柱齿轮的齿形加工	153
6.3 典型圆柱齿轮的加工工艺	164
习题与思考题	170
7 特种加工	171
7.1 概述	171
7.2 电火花加工	172
7.3 电解加工	174
7.4 电解磨削	175
7.5 激光加工	176
7.6 超声加工	177
7.7 电子束加工	178
7.8 等离子射流加工	178
习题与思考题	179
8 现代制造技术	180
8.1 概述	180
8.2 成组技术	180
8.3 数控加工工艺与编程方法	189
8.4 计算机辅助制造	193
习题与思考题	198

9 装配工艺基础	199
9.1 概述	199
9.2 装配工作的基本内容	199
9.3 机械产品的装配精度	201
9.4 装配工艺规程的编制	207
9.5 磨床头架的装配工艺过程	211
习题与思考题	218
参考文献	220

1 机械加工工艺规程的制订

1.1 概述

1.1.1 机器的生产过程和工艺过程

机器制造时,由原材料到成品之间各个相互关联的劳动过程的总和称为生产过程。机器的生产过程主要包括:

- (1) 原材料、半成品和工夹具的供应、运输和保管;
- (2) 生产的准备工作,如产品的设计和试验研究、工艺装备的设计与制造、各种生产资料和生产组织等方面的准备工作;
- (3) 毛坯的制造过程,如铸造、锻造和冲压等;
- (4) 零件的各种加工过程,如机械加工、焊接、热处理和表面处理等;
- (5) 产品的装配过程,包括组装、部装、总装等;
- (6) 产品的检验、试车、油漆和包装等。

在机器的生产过程中,对于那些与原材料变为成品直接有关的过程,如毛坯制造、机械加工、热处理和装配等,称为工艺过程。采用机械加工的方法,直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量,使之成为产品零件的过程,称为机械加工工艺过程。

1.1.2 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程由一系列工序组成。而工序又可分为若干个安装、工位、工步和走刀,它们按一定顺序排列,逐步地改变毛坯或原材料的形状、尺寸和材料的性能,使之成为合格的零件,机械加工的工艺过程可用图 1.1 表示。

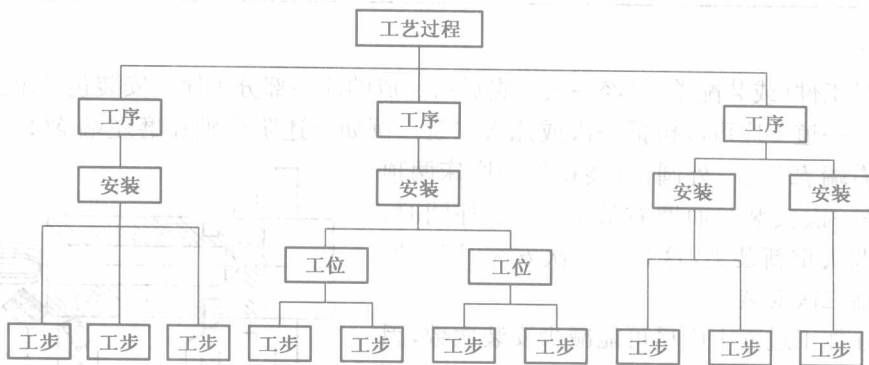


图 1.1 工艺过程的组成

1) 工序

工序是指一个(或一组)工人,在一个工作地(如一台机床)对同一个(或同时对几个)工件所连续完成的那一部分工艺过程。

工序是工艺过程的基本单元,划分工序的主要依据是零件加工过程中工作地(机床)是否变动,其次是该工序的工艺过程是否连续完成。例如,图 1.2 所示的台阶轴,其工序的划分如表 1.1 加工工艺卡中所示,分为热处理、车、铣和磨四道工序。

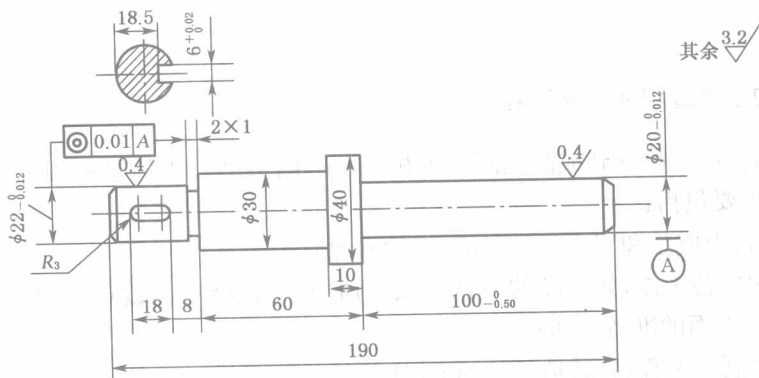


图 1.2 台阶轴

表 1.1 台阶轴的加工工艺卡

加工工艺卡		产品名称		图号
		零件名称		共 1 页
材料种类		圆钢	牌号 45	毛坯尺寸 $\phi 45 \times 200 \text{ mm}$
工序	工序内容			设备
1	热处理 调质 250HBS			刀具
2	车 车两端面符合总长尺寸,钻中心孔 $\phi 2 \text{ mm}$,车 $\phi 20 \text{ mm}$, $\phi 22 \text{ mm}$ 外圆,留磨削余量 $0.3 \sim 0.4 \text{ mm}$,其余均车至尺寸,车槽,倒角			车床 B 型中心钻 $\phi 2 \text{ mm}$
3	铣 铣键槽			立铣 $\phi 6 \text{ mm}$ 键槽铣刀
4	磨 磨 $\phi 22_{-0.012}^0$ 、 $\phi 20_{-0.012}^0$ 外圆至尺寸			外圆磨床

2) 安装

安装是工件(或装配单元)经一次装夹后所完成的那一部分工序。安装包括定位和夹紧两个部分。一道工序可以包括一次或几次安装。例如上述台阶轴在磨左端 $\phi 22_{-0.012}^0$ 时,用夹头夹紧右端 $\phi 20_{-0.012}^0$ 外圆,再装在外圆磨床两顶尖上,这是一次安装。而磨右端 $\phi 20_{-0.012}^0$ 外圆时,工件必须调头重新装夹,这是另一次安装,即一道工序中包括二次安装。

零件在加工过程中应尽可能减少安装次数,因为安装次数愈多,安装误差就愈大,而且安装工件的辅助时间也要增加。图 1.3 为在一次安装中加工完零件。

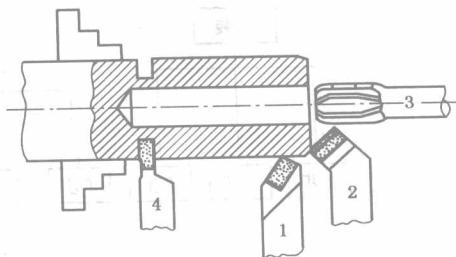


图 1.3 一次安装中加工完成零件

3) 工位

工位是为了完成一定的工序部分,一次装夹工件后,工件(或装配单元)与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置。

工件每安装一次至少有一个工位。为了减少工件安装的次数,常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具,使工件在一次安装中先后处于几个不同的位置进行加工。

图 1.4 所示为一利用回转工作台在一次安装中顺次完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四工位加工的实例。采用多工位加工,可减少工件安装次数,缩短辅助时间,提高生产率。

4) 工步

工步是在加工表面(或装配时的联接表面)和加工(或装配)工具不变的情况下,所连续完成的那一部分工序。一道工序可以包括几个工步,也可以只包括一个工步。例如在表 1.1 的工序 2 中,包括有粗、精车各外圆表面、车槽、倒角等工步,而工序 3 当采用键槽铣刀铣键槽时,就只包括一个工步。

图 1.5 所示的是在钻床上进行的一道工序,这道工序共有三个工步组成,即钻孔、扩孔和铰平刮孔。

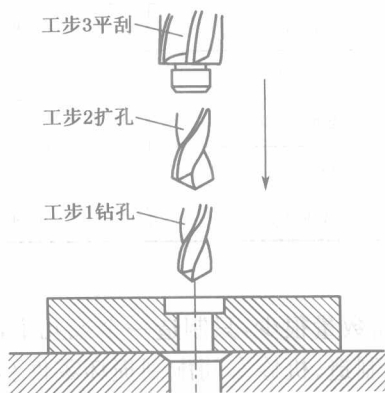


图 1.5 三个工步的钻孔工序

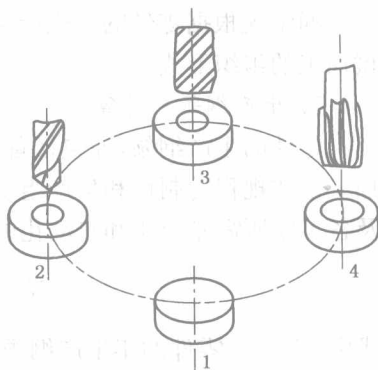


图 1.4 多工位加工

工位 1—装卸工件;工位 2—钻孔;
工位 3—扩孔;工位 4—铰孔

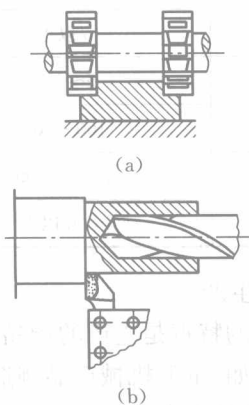


图 1.6 复合工步

为了提高生产率,用几把刀具同时加工几个表面的工步,称为复合工步,见图 1.6。在工艺文件上,复合工步应视为一个工步。

5) 走刀

走刀是工步的一部分,它是指由于加工余量较大,需要由同一刀具在同一切削用量下对同一表面进行几次切削时,刀具每切削一次所完成的那一部分工艺过程。

1.1.3 生产类型及其工艺特征

在编制零件机械加工工艺规程和组织生产时,应先确定零件机械加工的生产组织形式。

通常先根据零件的年生产纲领选取合适的生产类型,然后再由生产类型来确定零件机械加工的组形式。

1) 生产纲领的计算

零件的生产纲领,即包括备品和废品在内的该零件的年产量。生产纲领的大小对零件加工工艺规程的制订和生产组织有很大的影响,它决定所应选用的工艺方法和工艺装备,以及各工序所需专业化和自动化的程度。零件的生产纲领可按式计算:

$$N = Q \cdot n \cdot (1 + \alpha\%) \cdot (1 + \beta\%)$$

式中: N ——零件的年生产纲领;

Q ——产品的年产量;

n ——每台产品中该零件的数量;

$\alpha\%$ ——备件的百分率;

$\beta\%$ ——废品的百分率。

2) 生产类型

根据零件生产纲领的大小和重量,机械制造业的生产类型可分为三种:单件生产、成批生产和大量生产。表 1.2 表示各种生产类型的生产纲领。

表 1.2 各种生产类型的生产纲领

生产类型	零件的生产纲领		
	重型零件(30 kg 以上)	中型零件(4~30 kg)	轻型零件(4 kg 以下)
单 件	5 以下	10 以下	100 以下
小 批	5~100	10~200	100~500
中 批	100~300	200~500	500~5 000
大 批	300~1 000	500~5 000	5 000~50 000
大 量	1 000 以上	5 000 以上	50 000 以上

(1) 单件生产

单件生产的特点是生产的产品种类很多,而数量很少,只制造一个或几个,而且很少再重复生产。例如,重型机械产品制造、专用设备制造、机修车间配制损坏零件和新产品的试制等,都属于单件生产。

由于产品的数量少、种类多,因此车间机床设备和工艺装备多采用通用、万能的形式,以适应不同生产对象的加工。机床设备无法按工艺流程排列,只能按机床的类型和大小采取“机群式”排列。

(2) 成批生产

成批生产的特点是生产的产品品种较多,各种产品周期性地重复生产。例如,机床制造、机车制造等多属于成批生产。

每批相同零件制造的数量称为批量。按照批量的多少和产品的特征,成批生产又分为小批生产、中批生产和大批生产三种。在工艺方面,小批生产接近于单件生产,大批生产接近于大量生产,中批生产则介于单件和大量生产之间。

(3) 大量生产

大量生产的特点是生产的产品品种很少,而产量很大,每台设备(或工作地)经常重复地进行某一工件的某一道工序的生产。例如,汽车、拖拉机、轴承、标准件等,都属于大量生产。

由于生产类型不同,产品制造对生产组织、生产管理、车间布置、毛坯、设备、工具、加工方法和工人的技术熟练程度等方面的要求均有所不同。所以在制订工艺规程时,必须与生产类型相适应,以取得最大的经济利益。各种不同生产类型的工艺特征见表 1.3。

表 1.3 各种生产类型的工艺特征

特 点	单件小批生产	中批生产	大批大量生产
产品数量	少	中 等	大 量
加工对象	经常交换	周期变换	固定不变
机床设备和布置	采用万能设备,机群布置	采用万能和专用设备,按工艺路线布置成流水线	广泛采用专用设备和自动生产线
夹 具	非必要时不采用专用夹具和特种工具	广泛使用专用夹具和特种工具	采用高效能专用夹具和特种工具
刀具和量具	一般刀具和量具	专用刀具和量具	高效专用刀具和量具
安装方法	划线找正	部分划线找正	不需划线找正
工作性质	根据测量进行试切加工	用调整法加工,有时还可采用成组加工	使用自动化调整法加工
零件互换性	钳工试配	普遍应用互换,同时保留部分试配	全部互换,某些高精度配件用分组选配
毛坯制造	木模造型和自由锻造	金属模造型和模锻	金属模机器造型,模锻
工人技术要求	高	中 等	一 般
工艺规程的要求	只编制简单的工艺过程卡片	除有较详细的施工工艺卡片外,对重要零件的关键工序有详细的工序卡片	详细编制工艺规程
生 产 率	低	中	高
成 本	高	中	低

1.2 工艺文件

将零件机械加工工艺规程的内容,填入一定格式的卡片,即成为生产准备和施工依据的工艺文件。工艺文件目前还没有统一的格式,各厂都根据零件的复杂程度和生产类型自行确定。常用的有工艺过程卡、加工路线单、机械加工工艺卡和机械加工工序卡。

1.2.1 工艺过程卡

工艺过程卡中主要列出整个零件加工所经过的工艺路线(包括毛坯、机械加工和热处理等)、完成各道工序的车间(工段)和工时定额,其格式见表 1.4。某些工厂采用加工路线单

来代替工艺过程卡,其格式见表 1.5。

表 1.4 工艺过程卡 共 页第 页

厂名		机械加工过程卡				产品型号		零件名称		零件号	
						C6140 车床		开合螺母外壳		72-05-12	
毛坯种类	铸件	材料	HT150	毛坯尺寸	每一毛坯制件数	1	每台件数	1	单件重量(kg)	3.4	
工序	车间	工序内容			设备	工艺装备名称与编号				工 时	
						夹具	刀具	量具	辅具	准备	单件
	铸工	铸造、清砂									
	铸工	退 火									
10	金工	粗铣两侧面			X6130 万能铣	CJ-010-028 铣夹具	YG8 ϕ 110 端铣刀	游标卡			
20	金工	铣燕尾面			X5028 立铣	虎 钳	55°角铣刀	KQ-100-115 样板			
30	金工	刮燕尾面									
40	金工	钻、扩、铰销孔 ϕ 10H7			Z5025 立钻	CJ-100-104 翻转式 钻模	ϕ 6 钻头、 ϕ 9.8 扩钻、 ϕ 9.96 粗 铰刀、 ϕ 10 精 铰刀	ϕ 10H7 塞规	ME-000-112 快换夹头		
50	金工	镗孔 ϕ 40H7			C6136 车床		YG8 单刃镗刀	ϕ 40H7 塞规	ME-100-108 镗杆		
60	金工	精铣两侧面			X6130 万能铣		YG8 ϕ 110 端铣刀	游标卡			
70	金工	磨两侧面			M7130 平磨	磁力 工作台		KQ-200-014 卡规			
75		检 验									
80	金工	切开			X6030 卧铣	CJ-010-14 铣夹具	ϕ 200 \times 3 锯片 铣刀				
90	金工	修毛刺、打标记									
100	金工	钻、攻螺纹 M6			Z5018 立钻		ϕ 4.7 钻头、M6 丝锥	M6 塞规	ME-000-142 攻螺纹夹头		
110	金工	钻、铰销孔 ϕ 6H7			Z5018 立钻		ϕ 5.8 钻头、 ϕ 6 铰刀	ϕ 6H7 塞规			
120	装配	配钻、铰侧面销孔 ϕ 3									
编 制		校 对		审 核	会 签		批 准		日 期		

由于这种卡片对各工序的说明不够具体,故一般不能直接指导工人操作,而多作为生产管理方面使用。如计划员、调度员在安排零件加工的计划 and 调度时使用,也可作为统计工时、管理定额、核算成本时的重要资料。

在单件小批生产中,通常不编制其它较详细的工艺文件,而是以工艺过程卡来指导生产,在这种情况下应编制得比较详细些。

工艺卡是车间技术人员掌握整个零件加工过程和指导工人生产的主要技术文件。工厂中常将工艺卡和生产图样装订在一起,随图样发放使用。

1.2.3 机械加工工序卡

工序卡是用来具体指导工人进行操作的一种工艺文件。它是根据工艺卡为每个工序制订的,多用于大批、大量生产的零件和成批生产中的重要零件。工序卡中详细规定了该工序加工所必需的工艺资料,如定位基准、装夹方法、工序尺寸和公差以及机床、刀具、量具、切削用量的选择和工时定额等,其格式见表 1.7。

表 1.7 机械加工工序卡

××厂机械加工工序卡		产品名称及型号		零件名称	零件图号	工序名称	工序号	第 页										
								共 页										
工序图:				车间	工段	毛坯种类	材料牌号	力学性能										
				同时加工件数	每件件数	技术等级	单件时间(min)	准备—终结时间(min)										
				设备名称	设备编号	夹具名称	夹具编号	冷却液										
				更改内容及签名														
工步号	工步内容	计算数据			走刀次数	切削用量			工时定额(min)			刀具、量具及辅助工具						
		直径或长度(mm)	走刀长度(mm)	单边余量(mm)		切削深度(mm)	进给量(mm/r)或(mm/min)	每分钟转数或双行程数	切削速度(m/min)	基本时间	辅助时间	服工务作时地点	工具号	名称	规格	编号	数量	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
编制		抄写			校对			审阅			批准							

1.3 工艺规程制订的原则及方法

1.3.1 制订工艺规程的原则

制订工艺规程的原则是在一定的生产条件下,以最少的劳动量和最低的费用,按计划规定的速度,可靠地加工出符合图样要求的零件。工艺规程首先要保证产品质量,同时要争取最好的经济效益。在制订工艺规程时,应注意以下问题:

1) 技术上的先进性

在制订工艺规程时,应了解国内外本行业工艺技术的发展水平,根据本企业的具体情况,通过必要的工艺试验,积极采用合适的先进的工艺和工艺装备。

2) 经济上的合理性

在一定的生产条件下,可能会提出几个保证产品技术要求的工艺方案。此时应作全面衡量,并通过核算或评比选择经济上最合理的方案,使制造该产品的能源、物资消耗和成本最低。

3) 有良好的劳动条件

工艺规程制订时,要保证工人具有良好而安全的劳动条件。因此,在工艺方案中要注意采取机械化或自动化的措施,将工人从某些繁重的体力劳动中解放出来。

1.3.2 制订工艺规程的原始资料

制订工艺规程时,应具备下列原始资料:

(1) 产品的整套装配图和零件图;

(2) 产品的整套工艺装备资料,包括原有的专用工具、夹具、刀具、量具和专用设备;

(3) 产品验收的质量标准;

(4) 产品的生产纲领;

(5) 毛坯资料 包括各种毛坯制造方法的技术经济特征,各种钢材或型材的品种和规格、毛坯图等;

(6) 本厂的生产条件 为了使制订出的工艺规程能切实可行,一定要考虑本厂的生产条件。因此,要深入生产实际,了解毛坯生产能力及技术水平、加工设备和工艺装备的规格及性能、工人的技术水平以及专用设备和工艺装备的制造能力等;

(7) 有关的各种技术资料 如切削用量手册、夹具手册、机械工艺师手册、有关的国家标准、部颁及厂颁标准、相似零件的工艺规程以及国内外新技术、新工艺资料等。

1.3.3 制订工艺规程的步骤

制订零件机械加工工艺规程的主要步骤如下:

(1) 对照产品的装配图对所加工的零件进行工艺分析;

(2) 选择毛坯的制造方法;

(3) 拟订工艺路线,选择定位基准;

(4) 确定各工序尺寸及公差;

- (5) 确定各工序的设备和工、夹、刀、量具；
- (6) 确定各工序的切削用量和工时定额；
- (7) 确定各主要工序的技术要求和检验方法；
- (8) 填写工艺文件。

1.4 零件的工艺分析

在制订零件的机械加工工艺规程时,首先要分析该零件的零件图。要对照产品装配图,明确零件在产品中的位置、作用和相关零件的关系,然后对零件进行工艺分析。

1.4.1 零件技术要求的分析

零件的技术要求包括下列几个方面:

- (1) 加工表面的尺寸精度、形状精度和表面质量;
- (2) 各加工表面之间的相互位置精度;
- (3) 热处理和其它要求,如动平衡、镀铬处理等。

零件的尺寸精度、形位精度和表面粗糙度的选择,对确定机械加工工艺方案和生产成本影响很大。因此,必须认真审查,以避免要求过高而导致加工工艺复杂化和增加不必要的加工费用。

1.4.2 零件结构的分析

机械零件的结构,根据使用要求的不同而设计成各种形状和尺寸。但从形体上加以分析,都是由一些基本表面和特形表面组成的。基本表面有内外圆柱表面、圆锥表面和平面等;特形表面主要有螺旋面、渐开线齿形表面、圆弧面(如球面)等。

在研究具体零件的结构特点时,首先要分析该零件表面的组成和特征,因为表面形状和特征是选择加工方法的基本因素。例如,外圆通常由车削或磨削加工;内孔则通过钻、扩、铰、镗和磨削等加工方法获得。除表面形状外,表面尺寸和特征对加工工艺方案也有重要影响。以内孔为例,大孔与小孔、深孔与浅孔、薄壁孔与一般孔在加工工艺方案上均有明显的不同。

机械零件不同表面的组合形成零件结构上的特点。在机械制造中,通常按零件结构和工艺过程的相似性,将各类零件大致分为轴类零件、套类零件、箱体类零件、齿轮类零件和机架类零件等。

1.4.3 零件结构工艺性的分析

零件的结构工艺性是指所设计的零件在能满足使用要求的前提下,制造的可行性和经济性。结构工艺性的问题比较复杂,它涉及毛坯制造、机械加工、热处理和装配等各方面的要求。

在零件的制造全过程中,机械加工所需的费用最多,所以机械加工的结构工艺性审查尤为重要。机械加工时对零件的结构工艺性有如下一些要求:

- 1) 应保证刀具能正常工作

应考虑零件在机械加工时,刀具能正常工作,要进、退刀方便,容易测量。工艺性差的零